

RFMEMS ELEMENT

Publication number: JP2003258502

Publication date: 2003-09-12

Inventor: KAWAI HIROSHI; KOBAYASHI SHINJI; KONAKA YOSHIHIRO

Applicant: MURATA MANUFACTURING CO

Classification:

- international: B81B3/00; H01H59/00; H01P1/12; B81B3/00; H01H59/00; H01P1/10; (IPC1-7): H01P1/12; B81B3/00; H01H59/00

- european: H01H59/00B; H01P1/12D

Application number: JP20020060765 20020306

Priority number(s): JP20020060765 20020306

Also published as:



EP1343189 (A2)



US6713695 (B2)



US2003169146 (A)



EP1343189 (A3)



EP1343189 (B1)

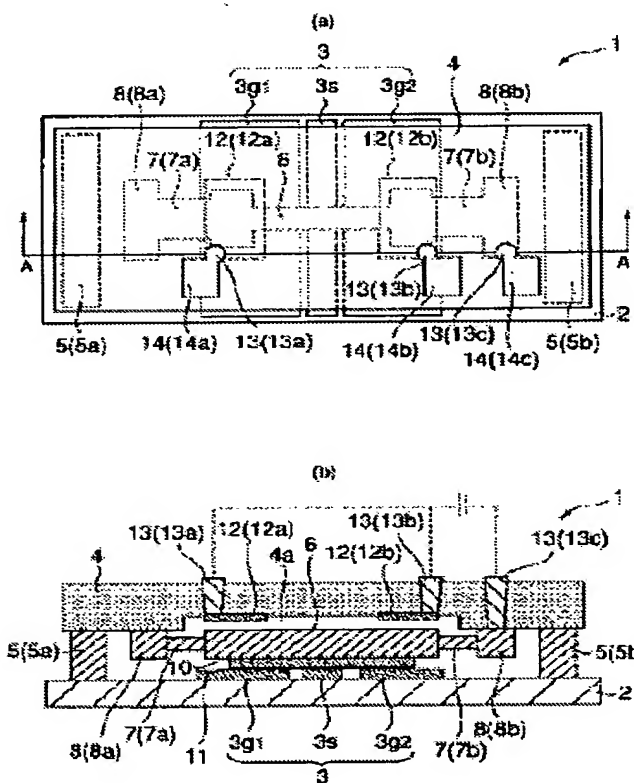
Report a data error here

Abstract of JP2003258502

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a radio frequency micro-electromechanical systems (RF MEMS) element the dielectric loss of a high frequency signal of which can be reduced.

SOLUTION: A moving body 6 is placed over a coplanar line 3 formed on a substrate 2 and a moving electrode 10 is formed to the moving body 6 in opposition to the coplanar line 3. The moving body 6 is made of a high resistance semiconductor acting like an insulator for a high frequency signal and like an electrode for a DC signal. The moving body 6 is displaced toward a fixed electrode 12 opposed to the moving body 6 by an electrostatic attracting force resulting from application of a DC voltage between the moving body 6 acting like the electrode and the fixed electrode 12 opposed to the moving body 6 to vary the static capacitance between the moving electrode 10 and the coplanar line 3. The moving body 6 made of the high resistance semiconductor has characteristics wherein the dielectric loss decreases as the frequency of signal increases so as to facilitate the reduction of the dielectric loss of the high frequency signal caused in the element while the dielectric loss of an insulator such as glass increases as the frequency of signal becomes higher.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-258502
(P2003-258502A)

(43) 公開日 平成15年9月12日 (2003.9.12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト* (参考)
H 0 1 P 1/12		H 0 1 P 1/12	5 J 0 1 2
B 8 1 B 3/00		B 8 1 B 3/00	
H 0 1 H 59/00		H 0 1 H 59/00	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-60765 (P2002-60765)

(22) 出願日 平成14年3月6日 (2002.3.6)

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所
京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 川合 浩史

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

(72) 発明者 小林 真司

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

(74) 代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

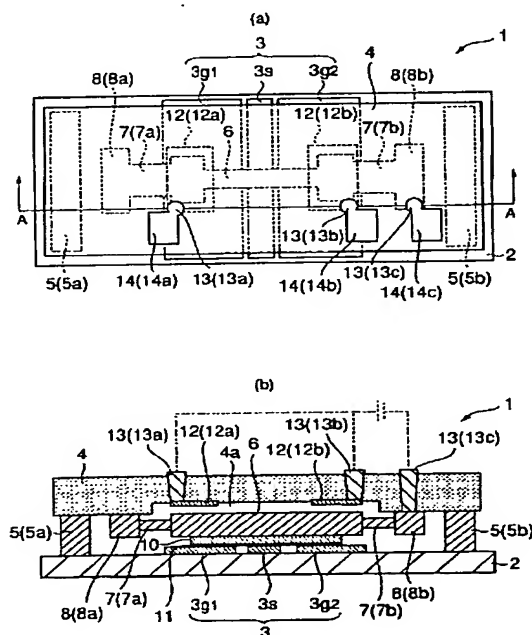
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 R F MEMS 素子

(57) 【要約】

【課題】 高周波信号の誘電体損失の低減を図る。

【解決手段】 基板2上に形成されたコプレーナ線路3の上方側に可動体6を配置し、可動体6に可動電極10をコプレーナ線路3に対向させて形成する。可動体6は、高周波信号に対しては絶縁体として振る舞い、かつ、直流信号に対しては電極として振る舞う高抵抗半導体により構成する。電極としての可動体6と可動用固定電極12との間の直流電圧印加による静電引力によって、可動体6が可動用固定電極12側に変位し、可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量が可変する。ガラス等の絶縁体は信号周波数が高くなるにつれて誘電体損失が増加するのに対して、高抵抗半導体から成る可動体6は信号周波数が高くなるに従って誘電体損失が低下する特性を有し、高周波信号の誘電体損失を低減することが容易となる。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に間隔を介して対向する可動体と、この可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して前記可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有する RF MEMS 素子であって、可動体は、高周波信号に対しては絶縁体として振る舞い、かつ、低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞う高抵抗半導体により構成されており、基板上には可動体の一部分に対向する可動用固定電極が形成され、この可動用固定電極と、前記電極として機能する可動体とは、当該可動用固定電極と可動体間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極側に変位させる可動体変位手段を構成しており、この可動体変位手段による可動体の変位によって高周波信号導通部と可動電極間の間隔が変化して当該高周波信号導通部と可動電極間の静電容量が可変する構成を備えていることを特徴とする RF MEMS 素子。

【請求項 2】 可動体の上方側に間隔を介して対向する上部部材が配設されており、可動用固定電極を基板上に設けるのに代えて、可動用固定電極はその上部部材に可動体の少なくとも一部分に対向させて形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の RF MEMS 素子。

【請求項 3】 対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には保護用の絶縁膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 記載の RF MEMS 素子。

【請求項 4】 高周波信号導通部を流れる高周波信号の周波数は 5 GHz 以上であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 又は請求項 3 記載の RF MEMS 素子。

【請求項 5】 可動体を構成する高抵抗半導体は、1000 Ω cm 以上、かつ、10000 Ω cm 以下の範囲内の抵抗率を有していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 つに記載の RF MEMS 素子。

【請求項 6】 RF MEMS 素子は、可動体の変位制御により高周波信号導通部と可動電極間の静電容量が可変制御される可変容量素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 つに記載の RF MEMS 素子。

【請求項 7】 高周波信号導通部はコプレーナ線路であり、RF MEMS 素子は、コプレーナ線路と可動電極間の静電容量が大となって当該コプレーナ線路と可動電極間が高周波的に短絡することによりコプレーナ線路の導通がオフし、また、コプレーナ線路と可動電極間の静電容量が小となって当該コプレーナ線路と可動電極間が高周波的にオープンとなることによりコプレーナ線路の導通がオンするスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 つに記載

の RF MEMS 素子。

【請求項 8】 高周波信号導通部は信号線路と成し、当該信号線路は可動電極に対向する領域内に分断部を有し、この分断部の両端の線路端部は可動電極に間隔を介して対向しており、RF MEMS 素子は、可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間の静電容量が大となって当該可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間が高周波的に短絡することにより信号線路の分断部の両端部分は可動電極を介して導通がオンし、また、可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間の静電容量が小さくなって当該可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間がオープンとなることにより信号線路の信号の導通がオフするスイッチ素子であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 つに記載の RF MEMS 素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波回路に組み込まれる RF MEMS (microelectromechanical systems) 素子に関するものである。

【0002】

【背景技術】図 9 (a) にはマイクロマシンスイッチの一例が平面図により示され、図 9 (b) には図 9 (a) の A-A 部分の断面図が示されている (特許第 3119255 号参照)。このマイクロマシンスイッチ 40 において、基板 41 上には、第 1 の信号線 42 a と第 2 の信号線 42 b が互いに端部をギャップ G を介して対向させて配置形成されている。また、基板 41 上には下部電極 43 が第 1 の信号線 42 a および第 2 の信号線 42 b と間隔を介して形成されている。

【0003】さらに、基板 41 には、固定部 45 が下部電極 43 の近傍に配設されている。さらにまた、基板 41 の上方側には、第 1 の信号線 42 a および第 2 の信号線 42 b の各端部の形成領域から下部電極 43 の形成領域にかけての基板領域に間隔を介して対向する可動体 44 が配置されている。この可動体 44 は、固定部 45 に梁 46 (46 a, 46 b) を介して支持されている。

【0004】可動体 44 の基板側の面にはほぼ全面に絶縁膜 47 が形成されており、この絶縁膜 47 上には、可動用電極 48 が下部電極 43 に対向させて形成され、また、接触電極 50 が第 1 の信号線 42 a の端部からギャップ G を介して第 2 の信号線 42 b の端部に至るまでの領域に対向させて形成されている。

【0005】このような構成のマイクロマシンスイッチ 40 では、例えば、下部電極 43 と可動用電極 48 間に直流電圧を印加することにより、当該下部電極 43 と可動用電極 48 間に静電引力が発生し、この静電引力によって梁 46 a, 46 b が撓んで可動体 44 が基板 41 側に引き寄せられる。この可動体 44 の変位によって接触電極 50 が信号線 42 a, 42 b の両方の端部に接触す

ることにより、信号線 42a、42b は接触電極 50 を介して導通する。このマイクロマシンスイッチ 40 では、そのように接触電極 50 が信号線 42a、42b に接触することによって信号線 42a、42b の信号導通がオンし、また、接触電極 50 が信号線 42a、42b から離れることによって信号線 42a、42b の信号導通がオフするという如く、スイッチング動作を行う。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このマイクロマシンスイッチ 40 の構成では、可動体 44 は、シリコンにボロンを高濃度にドーピングした低抵抗シリコンにより構成されている。この低抵抗シリコンは誘電体損失が大きいために、スイッチオン動作により接触電極 50 に流れる高周波信号は、接触電極 50 での伝搬ロスが大きいという問題がある。

【0007】この発明は上記課題を解決するために成されたものであり、その目的は、高周波信号の伝搬ロスの低減が図れる RF MEMS 素子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明は次に示す構成をもって前記課題を解決するための手段としている。すなわち、第 1 の発明は、基板と、この基板上に形成される高周波信号導通部と、基板の上方側に基板と間隔を介して配置され高周波信号導通部の少なくとも一部分に間隔を介して対向する可動体と、この可動体に形成され高周波信号導通部に対向する可動電極と、静電引力を利用して前記可動体を基板に対して遠近方向に変位させる可動体変位手段とを有する RF MEMS 素子であって、可動体は、高周波信号に対しては絶縁体として振る舞い、かつ、低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞う高抵抗半導体により構成されており、基板上には可動体の一部分に対向する可動用固定電極が形成され、この可動用固定電極と、前記電極として機能する可動体とは、当該可動用固定電極と可動体間の直流電圧印加による静電引力によって可動体を可動用固定電極側に変位させる可動体変位手段を構成しており、この可動体変位手段による可動体の変位によって高周波信号導通部と可動電極間の間隔が変化して当該高周波信号導通部と可動電極間の静電容量が可変する構成を備えていることを特徴としている。

【0009】第 2 の発明は、第 1 の発明の構成を備え、可動体の上方側に間隔を介して対向する上部部材が配設されており、可動用固定電極を基板上に設けるのに代えて、可動用固定電極はその上部部材に可動体の少なくとも一部分に対向させて形成されていることを特徴としている。

【0010】第 3 の発明は、第 1 又は第 2 の発明の構成を備え、対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には保護用の絶縁膜が

形成されていることを特徴としている。

【0011】第 4 の発明は、第 1 又は第 2 又は第 3 の発明の構成を備え、高周波信号導通部を流れる高周波信号の周波数は 5 GHz 以上であることを特徴としている。

【0012】第 5 の発明は、第 1 ～第 4 の発明の何れか 1 つの発明の構成を備え、可動体を構成する高抵抗半導体は、 $1000 \Omega \text{cm}$ 以上、かつ、 $10000 \Omega \text{cm}$ 以下の範囲内の抵抗率を有していることを特徴としている。

【0013】第 6 の発明は、第 1 ～第 5 の発明の何れか 1 つの発明の構成を備え、RF MEMS 素子は、可動体の変位制御により高周波信号導通部と可動電極間の静電容量が可変制御される可変容量素子であることを特徴としている。

【0014】第 7 の発明は、第 1 ～第 5 の発明の何れか 1 つの発明の構成を備え、高周波信号導通部はコプレーナ線路であり、RF MEMS 素子は、コプレーナ線路と可動電極間の静電容量が大となって当該コプレーナ線路と可動電極間が高周波的に短絡することによりコプレーナ線路の導通がオフし、また、コプレーナ線路と可動電極間の静電容量が小となって当該コプレーナ線路と可動電極間が高周波的にオープンとなることによりコプレーナ線路の導通がオンするスイッチ素子であることを特徴としている。

【0015】第 8 の発明は、第 1 ～第 5 の発明の何れか 1 つの発明の構成を備え、高周波信号導通部は信号線路と成し、当該信号線路は可動電極に対向する領域内に分断部を有し、この分断部の両端の線路端部は可動電極に間隔を介して対向しており、RF MEMS 素子は、可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間の静電容量が大となって当該可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間が高周波的に短絡することにより信号線路の分断部の両端部分は可動電極を介して導通がオンし、また、可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間の静電容量が小さくなって当該可動電極と信号線路の分断部の両端部分との間がオープンとなることにより信号線路の信号の導通がオフするスイッチ素子であることを特徴としている。

【0016】

【発明の実施の形態】以下に、この発明に係る実施形態例を図面に基づいて説明する。

【0017】図 1 (a) には本発明に係る RF MEMS 素子の一例が模式的な平面図により示され、図 1

(b) には図 1 (a) の A-A 部分の断面図が模式的に示されている。

【0018】この第 1 実施形態例の RF MEMS 素子 1 は、高周波回路に組み込まれてコプレーナ線路のスイッチ素子として機能するものである。この RF MEMS 素子 1 において、基板 2 (例えばシリコン基板やサファイア基板など) を有し、この基板 2 上には高周波信号導通部であるコプレーナ線路 (CPW 線路) 3 が形

成されている。このコプレーナ線路 3 は、信号線 3 s を 2 本のグランド線 3 gl, 3 g2 が間隔を介し挟み込む形態で配置されて成る高周波信号伝送用の線路であり、それら線路 3 s, 3 gl, 3 g2 は、例えば Au 等の導体膜により構成される。また、その線路 3 s, 3 gl, 3 g2 の厚みは適宜設定されるものであるが、その一例を挙げるとすると、例えば約 $2\ \mu\text{m}$ 程度である。この第 1 実施形態例では、コプレーナ線路 3 には例えば 5 GHz 以上の高周波の信号が流れる。

【0019】また、基板 2 の上方側には基板 2 と間隔を介して上部部材 (例えばガラス基板) 4 が配置されている。この上部部材 4 は固定部 5 (5 a, 5 b) を介して基板 2 に固定されている。

【0020】さらに、基板 2 と上部部材 4 間の間隙には、可動体 6 が、コプレーナ線路 3 の上方側に間隔を介し、かつ、コプレーナ線路 3 の信号線 3 s とグランド線 3 gl, 3 g2 の一部分に共通に対向させて配置されている。この可動体 6 は、基板 2 に対して遠近方向に変位が可能となるように梁 7 (7 a, 7 b) と支持部 8 (8 a, 8 b) を介して上部部材 4 に支持されている。

【0021】可動体 6 における基板 2 側の面には、例えば Au 等の導体膜から成る可動電極 10 が形成されている。図 2 (a) には上部部材 4 の上方側から見た可動電極 10 とコプレーナ線路 3 の配置関係例が簡略化して示され、また、図 2 (b) にはその可動電極 10 とコプレーナ線路 3 を横側から見た配置関係例が示されている。これらの図示の如く、可動電極 10 は、コプレーナ線路 3 のグランド線 3 gl から信号線 3 s を介しグランド線 3 g2 にかけて跨ぐように、かつ、それら線路 3 s, 3 gl, 3 g2 と間隔を介し対向させて形成されている。

【0022】この第 1 実施形態例では、可動電極 10 の表面には保護用の絶縁膜 11 が形成されている。この絶縁膜 11 は、例えば SiN 等の絶縁体により構成され、膜厚が例えば $0.1\ \mu\text{m}$ 程度という如く、非常に薄い膜である。

【0023】さらにまた、上部部材 4 には、可動体 6 に対向する部位に、凹部 4 a が形成されており、この凹部 4 a の内壁面には可動体 6 に対向する可動用固定電極 12 (12 a, 12 b) が形成されている。また、上部部材 4 には、当該上部部材 4 の表面から可動用固定電極 12 a, 12 b に至るスルーホール 13 a, 13 b が形成され、また、上部部材 4 の表面から支持部 8 (8 b) に至るスルーホール 13 c が形成されている。さらに、上部部材 4 の表面には、各スルーホール 13 a, 13 b, 13 c にそれぞれ接続する電極パッド 14 a, 14 b, 14 c が形成されている。

【0024】この第 1 実施形態例において最も特徴的なことは、可動体 6 が高抵抗半導体により構成されていることである。高抵抗半導体とは、高周波信号 (例えば約 5 GHz 以上の信号) に対しては絶縁体として振る舞い、

低周波信号 (例えば約 100 kHz 以下の信号) および直流信号に対しては電極として振る舞うことができる高い抵抗率を有する半導体である。この第 1 実施形態例では、可動体 6 を構成する高抵抗半導体は、 $1000\ \Omega\text{cm}$ 以上、かつ、 $10000\ \Omega\text{cm}$ 以下の範囲内の抵抗率を有している。

【0025】また、高抵抗半導体は、誘電体損失に関して次のような性質を有する。つまり、図 5 の実線 B に示す如く、ガラス等の絶縁体は、高周波領域において、周波数が高くなるに従って誘電体損失 ($\tan \delta$) が大きくなるのに対して、高抵抗半導体は、図 5 の実線 A に示すように、周波数が高くなるに従って誘電体損失が小さくなるというものである。なお、図 5 のグラフにおいて、実線 A は、抵抗率 $2000\ \Omega\text{cm}$ を持つ高抵抗シリコンに関するものであり、実線 a により囲まれている領域内の値は実験値であり、それ以外は文献値である。また、実線 B はパイレックス (登録商標) ガラスに関する文献値である。

【0026】この第 1 実施形態例では、コプレーナ線路 3 を流れる信号は 5 GHz 以上の高周波信号であり、この高周波信号に対しては、高抵抗半導体から成る可動体 6 は、当該可動体 6 を絶縁体により構成する場合と同等、あるいは、それ以上の良好な誘電体損失の特性を有する。

【0027】前記の如く、高抵抗半導体から成る可動体 6 は、直流信号 (直流電圧) に対しては当該可動体 6 自体を電極として機能させることができることから、この第 1 実施形態例では、電極としての可動体 6 と、可動用固定電極 12 a, 12 b とによって、可動体 6 を変位させる可動体変位手段が構成されている。つまり、電極パッド 14 a, 14 b, 14 c とスルーホール 13 a, 13 b, 13 c を介して外部から直流電圧 (例えば 5 V 程度の直流電圧) を可動体 6 と可動用固定電極 12 (12 a, 12 b) 間に印加すると、当該可動体 6 と可動用固定電極 12 間に静電引力が発生する。この静電引力によって可動体 6 は、図 4 に示すように、可動用固定電極 12 側に引き寄せられる。このように、可動体 6 と可動用固定電極 12 により静電引力を利用して可動体 6 を変位させることができる。

【0028】この第 1 実施形態例の RF MEMS 素子 1 は上記のように構成されており、次に示すようにコプレーナ線路のスイッチ素子として機能することができる。

【0029】例えば、図 1 (b) の如く、可動電極 10 上の絶縁膜 11 がコプレーナ線路 3 に接触している、又は、近接している状態では、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の間隔は絶縁膜 11 の厚み (例えば $0.1\ \mu\text{m}$) 程度というように非常に狭く、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の静電容量は大きくなる。

【0030】ところで、図 3 (a) には図 2 (a)、(b) に示される可動電極 10 およびコプレーナ線路

3の等価回路が示されている。なお、 C_1 は可動電極10とグラウンド線3g1間の静電容量を示し、 C_2 は可動電極10とグラウンド線3g2間の静電容量を示し、 C_3 は可動電極10と信号線3s間の静電容量を示している。また、 L_1 、 R_1 は、それぞれ、可動電極10のグラウンド線3g1側のインダクタンス値、抵抗値を示し、 L_2 、 R_2 は、それぞれ、可動電極10のグラウンド線3g2側のインダクタンス値、抵抗値を示す。

【0031】図3(a)の等価回路を整理すると、図3(b)に示すように表すことができる。なお、近似的に静電容量 C は、 $C = 1 / ((1 / (C_1 + C_2)) + (1 / C_3))$ の数式に基づくものであり、インダクタンス L は、 $L = 1 / ((1 / L_1) + (1 / L_2))$ の数式に基づくものであり、抵抗 R は、 $R = 1 / ((1 / R_1) + (1 / R_2))$ の数式に基づくものである。

【0032】前記の如く、可動電極10とコプレーナ線路3間の間隔が狭くて当該可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量 C が大きくなると、図3(b)の等価回路における LC の直列共振周波数が信号線3sを流れる高周波信号の周波数に近くなり、信号線3s側から可動電極10を介してグラウンド側を見たときの LC 回路部分のインピーダンスが非常に小さくなる。つまり、信号線3sから可動電極10を介してグラウンド側を見たときに短絡と等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路3の信号の導通がオフする。

【0033】また、図4に示すように、可動体6が基板2から離れる方向に変位して、可動電極10とコプレーナ線路3間の間隔が例えば5 μ m程度に広がると、可動電極10とコプレーナ線路3間の静電容量 C が小さくなり、信号線3s側から可動電極10を介してグラウンド側を見たときのインピーダンスが非常に大きくなる。つまり、信号線3sから可動電極10を介してグラウンド側を見たときにオープンと等価な状態となる。これにより、コプレーナ線路3の信号の導通はオンする。

【0034】このように、この第1実施形態例のRF MEMS素子1は、可動体6を静電引力を利用して変位させることにより、コプレーナ線路3の信号導通のオン・オフを行うことができる。

【0035】この第1実施形態例では、可動体6が高抵抗半導体により構成されているので、前記の如く、可動体6自体が可動体変位手段の電極として機能することができる。これにより、可動体6に、可動体変位手段を構成するための電極を形成しなくて済むので、RF MEMS素子1の構造および製造工程の簡略化を図ることができる。これにより、RF MEMS素子1の低コスト化を図ることができる。

【0036】また、高抵抗半導体から成る可動体6は、高周波信号に対しては絶縁体の如く振る舞い、その誘電体損失($\tan \delta$)は絶縁体と同等、あるいは、それ以上に良好となることから、高周波信号の伝搬ロスを低減す

ることができる。近年、信号は高周波化の傾向にあり、可動体6を絶縁体により構成すると、信号の高周波化により可動体6の誘電体損失は大きくなって(図5の実線B参照)可動体6に因る信号の伝搬ロスの増加が懸念されるが、この第1実施形態例の如く、可動体6を高抵抗半導体により構成することにより、信号が高周波化することにより可動体6の誘電体損失が小さくなることから

(図5の実線A参照)、信号の高周波化により可動体6に因る信号の伝搬ロスを低減することができる。このように、この第1実施形態例の構成は、今後、非常に有効となるものである。

【0037】さらに、例えば仮にコプレーナ線路3と可動電極10が直接接触により結合する構成とすると、図3(b)の抵抗値 R に接触抵抗成分が含まれて抵抗値 R が大きくなってしまふ。これにより、信号のロスが増加する。これに対して、この第1実施形態例では、コプレーナ線路3と可動電極10は静電容量を介して結合する構成であるので、コプレーナ線路3と可動電極10間に接触抵抗は発生せず、信号のロスを抑制することができる。

【0038】以下に、第2実施形態例を説明する。なお、この第2実施形態例の説明において、第1実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0039】この第2実施形態例では、図6に示すように、可動体6は電気的に浮遊した構成となっている。それ以外の構成は第1実施形態例と同様である。つまり、可動体6を外部と導通させるためのスルーホール13cと電極パッド14cが省略されている。これにより、第1実施形態例の構成よりも、構造を簡略化することができる。また、製造コストを低減することができる。

【0040】以下に、第3実施形態例を説明する。なお、この第3実施形態例の説明において、第1や第2の各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0041】この第3実施形態例では、可動用固定電極12を可動体6の上方側に設けるのではなく、図7に示すように、可動用固定電極12(12a、12b)は、可動体6の下方側、つまり、基板2上に、可動体6の一部分に対向させて設けられている。第1や第2の各実施形態例では、可動用固定電極12を可動体6の上方側に配置するために上部部材4が形成されていたが、この第3実施形態例では、可動用固定電極12が基板2上に形成される構成であるために、上部部材4を設けなくとも済むので、当該上部部材4は省略されている。また、可動体6は、上部部材4に支持されるのに代えて、梁7を介して、基板2に固定されている固定部16(16a、16b)に支持されている。

【0042】この第3実施形態例では、可動用固定電極12は可動体6上に形成されているために、可動体6と

可動用固定電極 12 間に直流電圧を印加すると、可動体 6 は基板 2 側に引き寄せられる構成となる。このため、可動体 6 と可動用固定電極 12 間に直流電圧を印加していないときには、図 7 に示すように、可動電極 10 上の絶縁膜 11 と、コプレーナ線路 3 との間には間隙が形成される状態となる。

【0043】この第 3 実施形態例では、上部部材 4 を省略することができるので、構造および製造工程の簡略化を図ることができる。

【0044】なお、この第 3 実施形態例では、上部部材 4 が省略されていたが、例えば可動体 6 の保護を図る観点から、この第 3 実施形態例の如く可動用固定電極 12 を基板 2 上に形成する構成とした場合においても、第 1 や第 2 の各実施形態例と同様に上部部材 4 を設けてもよい。

【0045】以下に、第 4 実施形態例を説明する。なお、この第 4 実施形態例の説明において、第 1 ～第 3 の各実施形態例と同一構成部分には同一符号を付し、その共通部分の重複説明は省略する。

【0046】図 8 (a) には第 4 実施形態例の RF MEMS 素子 1 の模式的な平面図が示され、図 8 (b) には図 8 (a) の A-A 部分の断面図が示されている。

【0047】第 1 ～第 3 の各実施形態例の RF MEMS 素子 1 は、いわゆる並列スイッチの構成であるのに対して、この第 4 実施形態例では、直列スイッチの構成を有している。

【0048】すなわち、この第 4 実施形態例では、コプレーナ線路 3 の信号線 3s には分断部 18 が形成されており、可動電極 10 は、その分断部 18 の一端側の線路端部から分断部 18 を介し他端側の線路端部にかけて対向するように、可動体 6 に形成されている。この第 4 実施形態例では、可動電極 10 は、コプレーナ線路 3 のグラウンド線 3g1、3g2 には対向していない。

【0049】上記のようなコプレーナ線路 3 の信号線 3s および可動電極 10 以外の構成は、第 1 ～第 3 の各実施形態例と同様である。なお、図 8 の図示の例では、可動体 6 は第 1 実施形態例の如くスルーホール 13c と電極パッド 14c によって外部の回路と接続可能な構成であるが、第 2 実施形態例の如く可動体 6 は電氣的に浮遊した状態としてもよい。また、図 8 の図示の例では、可動用固定電極 12 は上部部材 4 に形成されているが、第 3 実施形態例の如く可動用固定電極 12 を基板 2 上に形成してもよい。

【0050】この第 4 実施形態例の RF MEMS 素子 1 では、図 8 (b) に示すように、可動電極 10 上の絶縁膜 11 が信号線 3s に接触して、可動電極 10 と、分断部 18 の両端の線路部分との間の間隔が非常に狭い場合には、可動電極 10 と分断部 18 の両端の線路部分とは静電容量が大きくなって当該可動電極 10 と分断部 18 の両端の線路部分との間は高周波的に短絡する。これ

により、分断部 18 の両端の線路端部分は可動電極 10 を介して導通し、信号線 3s の信号の導通がオンする。

【0051】また、可動体変位手段による可動体 6 の変位によって可動電極 10 が基板 2 から離れる方向に変位すると、可動電極 10 と分断部 18 の両端の線路端部との間の間隔が広がって、当該可動電極 10 と分断部 18 の両端の線路端部との間の静電容量が小さくなる。これにより、可動電極 10 と分断部 18 の両端の線路端部との間がオープンとなり、信号線 3s の信号導通はオフする。

【0052】この第 4 実施形態例においても、第 1 ～第 3 の各実施形態例と同様に、可動体 6 が高抵抗半導体により構成されているので、第 1 ～第 3 の各実施形態例と同様の効果を得ることができる。

【0053】なお、この発明は第 1 ～第 4 の各実施形態例に限定されるものではなく、様々な実施の形態を採り得る。例えば、第 1 ～第 4 の各実施形態例では、RF MEMS 素子 1 はスイッチ素子である例を示したが、同様な構成により可変容量素子を構成することができる。スイッチ素子とする場合には、可動電極 10 とコプレーナ線路 3 間の高周波的な短絡とオープンの切り換えが可能に、可動体 6 を大きく変位させる必要があるが、可変容量素子とする場合には、一般的に静電容量の可変範囲はそれほど小さくなく、可動体 6 の変位量は少なくてもよい。また、RF MEMS 素子を可変容量素子とする場合には、可動体 6 の高精度な変位制御が可能となるように梁 7 の弾性係数などが設定されることが好ましい。

【0054】また、第 1 ～第 4 の各実施形態例では、高周波信号導通部として、コプレーナ線路が設けられている例を示したが、高周波信号導通部として、コプレーナ線路以外の例えばマイクロストリップ線路等の線路を形成してもよい。

【0055】さらに、各実施形態例では、可動体 6 を構成する高抵抗半導体として、高抵抗のシリコンを例に挙げたが、シリコン以外の例えば GaAs 等の高抵抗の半導体により、可動体 6 を構成してもよいものである。

【0056】さらに、第 1 ～第 4 の各実施形態例では、可動電極 10 上に絶縁膜 11 が形成されていたが、例えば、絶縁膜 11 を可動電極 10 に設けるのに代えて、コプレーナ線路 3 における少なくとも可動電極 10 に対向する部分に絶縁膜 11 を形成してもよいし、また、対向し合う可動電極 10 とコプレーナ線路 3 の両方の表面に絶縁膜 11 を形成してもよい。

【0057】

【発明の効果】この発明によれば、可動体を高抵抗半導体により構成しているので、可動体は低周波信号および直流信号に対しては電極として振る舞うことができる。このことから、この発明では、可動体自体を可動体変位手段の電極として機能させている。これにより、可動体

に可動体変位手段の電極を形成しなくて済むこととなるので、RF MEMS素子の構造および製造工程の簡略化を図ることができる。

【0058】また、上記の如く可動体を高抵抗半導体により構成しており、当該高抵抗半導体は、高周波信号に対しては非常に低い誘電体損失を持つ性質であることから、信号のロスを低減することが可能となる。

【0059】また、対向し合う高周波信号導通部の表面と可動電極の表面とのうちの少なくとも一方には絶縁膜が形成されているものにあつては、高周波信号導通部あるいは可動電極の保護を図ることができる。また、高周波信号導通部と可動電極は接触することがないので、高周波信号導通部と可動電極の接触による接触抵抗に起因した信号のロスを確実に防止することができる。

【0060】さらに、高周波信号導通部を流れる高周波信号の周波数が5GHz以上であるものにあつては、可動体を高抵抗半導体により構成することに起因した誘電体損失の抑制効果を大きく得ることができる。

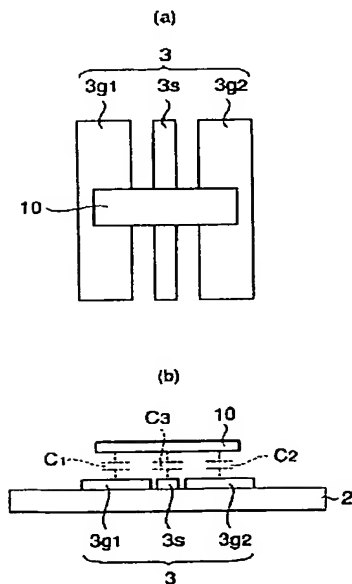
【0061】この発明において特徴的な構成を有するスイッチ素子であるRF MEMS素子や、可変容量素子であるRF MEMS素子を回路に組み込むことにより、当該回路のロス低減に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態例のRF MEMS素子を説明するための図である。

【図2】第1実施形態例のRF MEMS素子を構成する可動電極とコプレーナ線路を抜き出して当該可動電極とコプレーナ線路の配置関係の一例を示すモデル図

【図2】



である。

【図3】第1実施形態例のRF MEMS素子を構成する可動電極とコプレーナ線路部分の等価回路図である。

【図4】第1実施形態例のRF MEMS素子において、静電引力を利用して可動体を変位させた状態を示したモデル図である。

【図5】高抵抗半導体における周波数と誘電体損失 ($\tan \delta$) の関係例をガラスの場合と比較して示すグラフである。

【図6】第2実施形態例のRF MEMS素子を説明するためのモデル図である。

【図7】第3実施形態例のRF MEMS素子を説明するためのモデル図である。

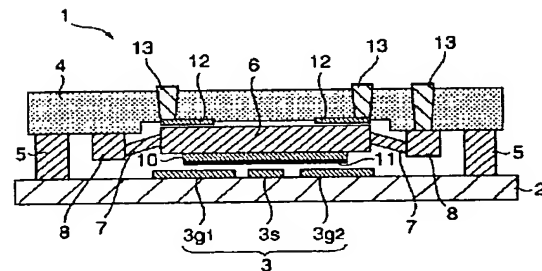
【図8】第4実施形態例のRF MEMS素子を説明するためのモデル図である。

【図9】特許第3119255号に開示のマイクロマシンスイッチを説明するための図である。

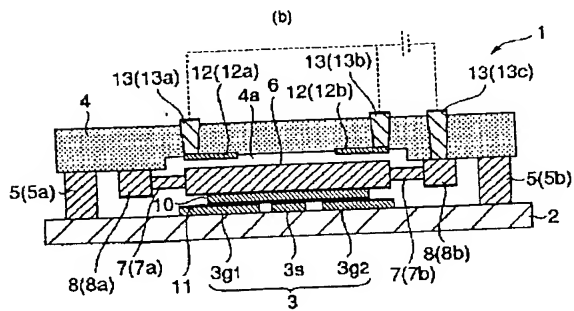
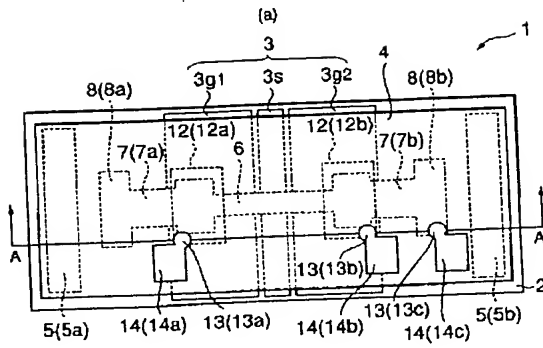
【符号の説明】

- 1 RF MEMS素子
- 2 基板
- 3 コプレーナ線路
- 4 上部部材
- 6 可動体
- 10 可動電極
- 11 絶縁膜
- 12 可動用固定電極
- 18 分断部

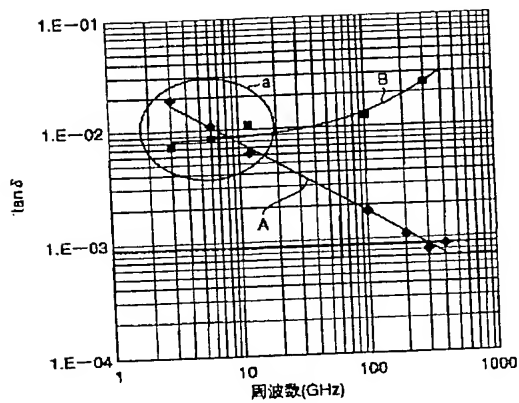
【図4】



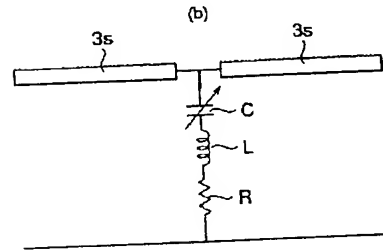
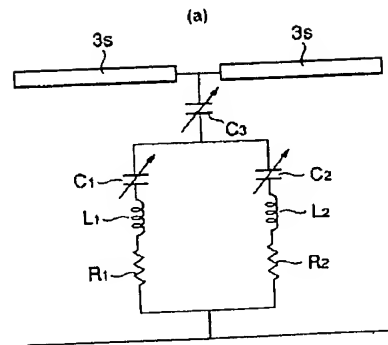
【図1】



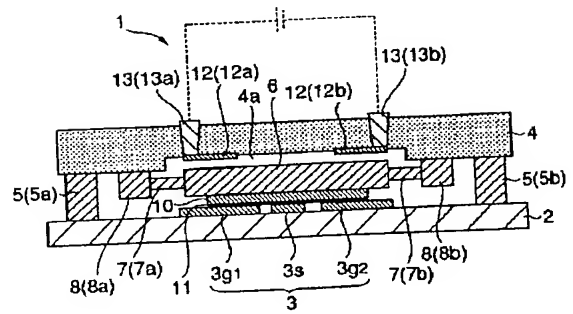
【図5】



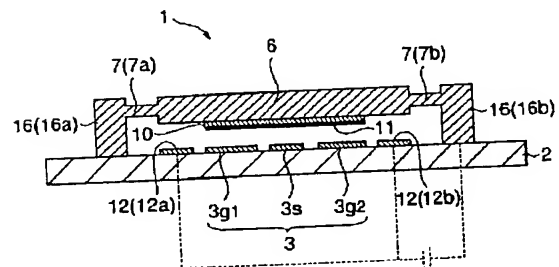
【図3】



【図6】

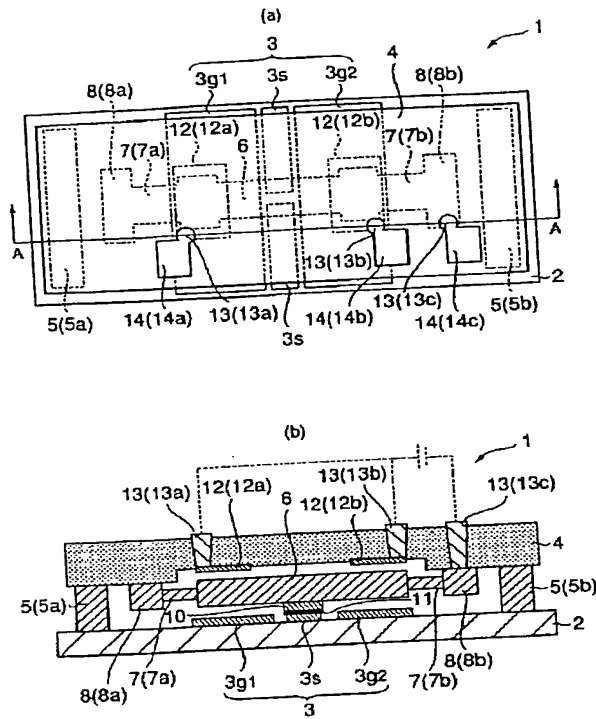


【図7】

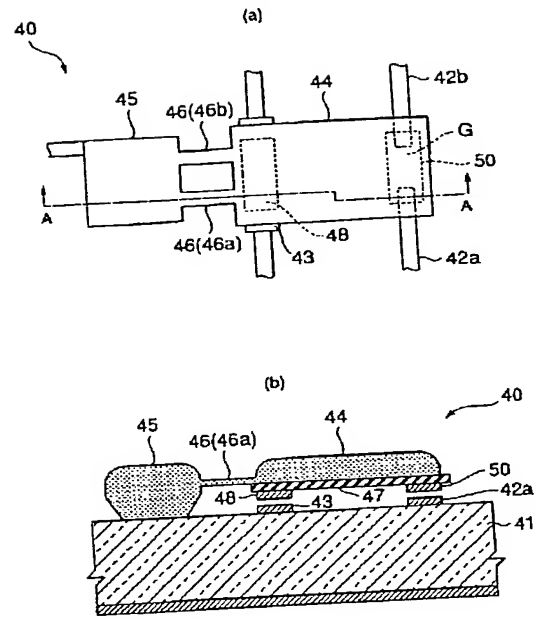


(9)

【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 小中 義宏
京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

Fターム(参考) 5J012 AA00

THIS PAGE BLANK (USPTO)